

Вывод формулы для расчёта индуктивности Земли Акопов В. В.

Акопов Вачакан Ваграмович / Akorov Vachakan Vagramovich – учитель физики,
Муниципальное образовательное учреждение Средняя школа № 6,
село Полтавское, Курский район, Ставропольский край

Аннотация: в данной статье представлен вывод формулы для расчета индуктивности Земли; численное значение индуктивности Земли, полученное здесь расчётным путём, можно использовать при теоретических геофизических исследованиях Земли и при решении задач.

Ключевые слова: индуктивность, магнитная постоянная, магнитная проницаемость, диэлектрическая проницаемость, электроёмкость, Земля, диаметр, электрическая постоянная.

Известно, что с научной точки зрения индуктивность – это способность извлекать энергию из источника электрического тока и сохранять её в виде магнитного поля. Определение индуктивности Земли и её областей очень сложно, но в некоторых простейших случаях её можно рассчитать.

«Индуктивность Земли» определяется по формуле:

$$L_3 = \frac{\mu_0 \cdot D_3}{4\pi}, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная, $D_3 \approx 12800 \text{ км} \approx 1,28 \cdot 10^7 \text{ м}$ – средний диаметр Земли.

Подставив численные значения в выражение (1), получим:

$$L_3 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 1,28 \cdot 10^7 \text{ м}}{4\pi} = 1,28 \text{ Гн} \gg [1,177].$$

Полученное численное значение является внешней индуктивностью Земли. Какова же внутренняя индуктивность Земли и её областей? Реально внутренняя индуктивность Земли и её областей неизвестна.

Попытаемся вычислить.

Магнитная постоянная в системе СИ имеет размерность:

$$[\mu_0] = \frac{\text{Гн}}{\text{м}}. \quad (2)$$

Электрическая постоянная в системе СИ имеет размерность:

$$[\varepsilon_0] = \frac{\Phi}{\text{м}}. \quad (3)$$

Перемножив выражения (2) и (3), получим:

$$[\mu_0 \cdot \varepsilon_0] = \frac{\text{Гн} \cdot \Phi}{\text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Гн} \cdot \Phi}{\text{м}^2}. \quad (4)$$

Заменив в выражении (4) единицы измерения их физическими величинами, получим:

$$\mu_0 \cdot \varepsilon_0 = \frac{L \cdot C}{S}, \text{ откуда } L = \frac{\mu_0 \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{C}, \quad (5)$$

где L – индуктивность, C – электроёмкость, S – площадь поверхности.

Учитывая, что индуктивность зависит от магнитной проницаемости среды, формула (5) примет вид:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{C}, \quad (6)$$

где μ – магнитная проницаемость среды.

По представлениям Николы Теслы наша планета Земля представляет собой сферический конденсатор огромной ёмкости.

Ёмкость определяется геометрическими размерами и формой проводника, а также электрическими свойствами окружающей среды (её диэлектрической проницаемостью) и не зависит от материала проводника.

«Электроёмкость шара» определяется по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot r}{k} = \frac{\varepsilon \cdot D}{2k}.$$

Учитывая, что $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, получим:

$$C = 2\pi\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot D, \quad (7)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды» [2, 171].

Используя выражения (6) и (7), получим:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot D} = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot S}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot D}$$

или с учётом, что $S = \pi D^2$, будем иметь:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot \pi D^2}{2\pi \cdot \varepsilon \cdot D} = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot D}{2\varepsilon}. \quad (8)$$

Мы получили общую формулу для расчёта внешней и внутренней индуктивности Земли и её областей.

«По геофизическим данным Земля разделяется на три основные области: кору, оболочку и ядро. Под корой понимают верхний слой Земли, имеющий толщину 33 км. Оболочка или, как часто говорят геологи, мантия Земли располагается ниже коры на глубине от 33 км до 2900 км. Ядро представляет собой центральную часть Земли на глубине от 2900 км до центра» [3, 8].

Численные значения величин, необходимых для расчёта индуктивности физических величин, возьмём из следующих таблиц.

Таблица 1. Диаметр Земли и её областей [4, 10]

Диаметр	Земля	Земная кора	Мантия	Ядро
$D, 10^6 \text{ м}$	12,742	12,696	12,676	6,97

Таблица 2. Магнитная проницаемость Земли и её областей [5, 13]

Магнитная проницаемость	Земля	Земная кора	Мантия	Ядро
μ	2795	504	963	6637

Таблица 3. Диэлектрическая проницаемость Земли и её областей [6, 12]

Диэлектрическая проницаемость	Земля	Земная кора	Мантия	Ядро
ε	6,09	5,34	7,64	2,9

Используя формулу (8) и численные значения физических величин из таблиц 1, 2, 3, вычислим:

1. внешнюю индуктивность Земли при $\mu=1$ и $\varepsilon=1$ (для воздуха):

$$L_3^{\text{внеш}} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 1,0 \cdot 12,742 \cdot 10^6 \text{ м}}{2 \cdot 1,0} = 8,0 \text{ Гн.}$$

2. внутреннюю индуктивность Земли:

$$L_3^{\text{внутр}} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \cdot 2795 \cdot 12,742 \cdot 10^6 \text{ м}}{2 \cdot 6,09} = 3675,4 \text{ Гн.}$$

3. индуктивность земной коры:

$$L_{з.к.} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Гн}{м} \cdot 504 \cdot 12,696 \cdot 10^6 м}{2 \cdot 5,34} = 753,1 Гн.$$

4. индуктивность мантии Земли:

$$L_{мантии} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Гн}{м} \cdot 963 \cdot 12,676 \cdot 10^6 м}{2 \cdot 7,64} = 1004,2 Гн.$$

5. индуктивность ядра Земли:

$$L_{ядра} = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \frac{Гн}{м} \cdot 6637 \cdot 6,97 \cdot 10^6 м}{2 \cdot 2,9} = 10025,6 Гн.$$

Таким образом, внешняя индуктивность Земли равна 8,0 Гн, внутренняя индуктивность Земли равна 3675,4 Гн, земной коры – 753,1 Гн, мантии – 1004,2 Гн и ядра – 10025,6 Гн. Полученные данные занесём в таблицу.

Таблица 4. Индуктивность Земли и её областей

Индуктивность L (Гн)				
внешняя (Земли)	внутренняя (Земли)	земной коры	мантии Земли	ядра Земли
8,0	3675,4	753,1	1004,2	10025,6

Литература

1. Ландау А. Д., Лифшиц Е. М, Том 8. М. «Наука», 1982, 177 с.
2. Мустафаев Р. А., Кривцов В. Г. Физика. М: Высшая школа. 1989. - 171 с.
3. Темко С. В., Соловьёв Г. А., Милантьев В. П. Физика раскрывает тайны Земли. // Москва. 1976. - 8 с.
4. Енохович А. С. Справочник по физике и технике. // Просвещение. Москва. 1989. - 105 с.
5. Акопов В. В. Материалы XXIV Международной научно-практической конференции. Москва. 2015. - 13 с.
6. Акопов В. В. Материалы XXV Международной научно-практической конференции. Москва. 2015. – 12 с.